



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift

⑯ DE 198 40 886 A 1

⑮ Int. Cl. 7:
F 16 H 21/02
B 23 Q 1/44

DE 198 40 886 A 1

⑯ Aktenzeichen: 198 40 886.2
⑯ Anmeldetag: 8. 9. 1998
⑯ Offenlegungstag: 23. 3. 2000

- ⑯ Anmelder:
Hesselbach, Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 38300
Wolfenbüttel, DE
- ⑯ Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

- ⑯ Erfinder:
Hesselbach, Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 38300
Wolfenbüttel, DE; Plitea, Nicolae, Prof. Dr.-Ing.,
Cluj-Napoca, RU; Kerle, Hanfried, Dr.-Ing., 38108
Braunschweig, DE; Frindt, Matthias, Dipl.-Ing.,
38106 Braunschweig, DE

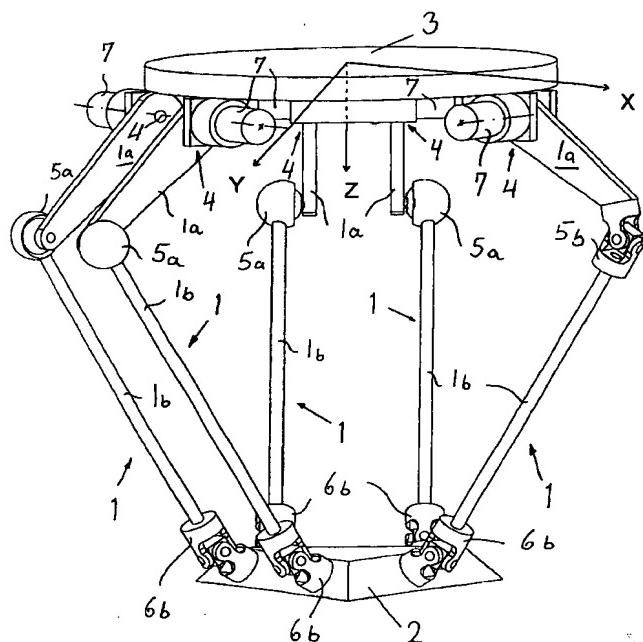
- ⑯ Entgegenhaltungen:
DE 691 01 830 T1
GB 10 80 074

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Bewegungsvorrichtung mit Parallelstruktur

- ⑯ Die Erfindung betrifft eine Bewegungsstruktur mit Parallelstruktur und mit zumindest drei jeweils separat angetriebenen, d. h. aktiven Führungsgelenkketten (1) zur Parallelführung einer Werkzeugplattform (WP) (2) gegenüber einer raumfesten Gestellplattform (GP) (3) in einem durch die mit der Gestellplattform (2) verbundenen X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum, wobei jede Führungsgelenkkette (1) einen GP-nahen, mit der Gestellplattform (3) gelenkig verbundenen Gelenkstab (1a) sowie zumindest einen WP-nahen, sowohl mit dem GP-nahen Gelenkstab (1a) als auch mit der Werkzeugplattform (2) gelenkig verbundenen Gelenkstab (1b) aufweist, so daß die Werkzeugplattform (2) das gegenüber der Gestellplattform (3) bewegte, alle Führungsgelenkketten (1) als geschlossene kinematische Ketten miteinander verbindende Glied darstellt. Zur konstruktiven Vereinfachung wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß zur Positionierung und Orientierung der Werkzeugplattform (2) fünf Freiheitsgrade und somit fünf die Führungsgelenkketten (1) beaufschlagende Antriebe (7, 8) vorgesehen sind, wobei zumindest eine aktive oder eine passive Führungsgelenkkette (1) insgesamt fünf Gelenkfreiheitsgrade ($f = 5$) aufweist.



DE 198 40 886 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Bewegungsvorrichtung mit Parallelstruktur und mit zumindest drei jeweils separat angetriebenen, d. h. aktiven Führungsgelenkketten zur Parallelführung einer Werkzeugplattform gegenüber einer raumfesten Gestellplattform in einem durch die mit der Gestellplattform verbundenen X-, Y- und Z-Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum, wobei jede Führungsgelenkkette einen GP-nahen, mit der Gestellplattform gelenkig verbundenen Gelenkstab sowie einen WPnahen, sowohl mit dem GP-nahen Gelenkstab als auch mit der Werkzeugplattform gelenkig verbundenen Gelenkstab aufweist, so daß die Werkzeugplattform das gegenüber der Gestellplattform bewegte, alle Führungsgelenkketten als geschlossene kinematische Ketten miteinander verbindende Glied darstellt.

Bewegungsvorrichtungen mit Parallelstruktur bauen – getriebesystematisch gesehen – auf geschlossenen kinematischen Ketten auf. Dabei bildet die Werkzeugplattform das gegenüber der Gestellplattform bewegte verbindende Glied aller Führungsgelenkketten.

Zu den heute bekanntesten Bewegungsvorrichtungen mit Parallelstruktur zählen die allgemein mit HEXA oder HEXAPOD bezeichneten Maschinen, die im allgemeinen sechs einzeln angetriebene Führungsgelenkketten besitzen. Die Antriebe als Dreh- oder Schubantriebe sind entweder in der Gestellplattform gelagert oder als aktive Gelenke in die Führungsgelenkketten integriert. Diese Bewegungsvorrichtungen haben somit sechs Bewegungsfreiheiten und können die gegebenenfalls mit einer Arbeitsspindel bestückte Werkzeugplattform beliebig innerhalb des nutzbaren Arbeitsraumes anordnen, d. h. sowohl positionieren als auch orientieren. Aus konstruktiven, steuerungstechnischen und Kostengründen werden die sechsachsigen Bewegungsvorrichtungen mit Parallelstruktur meist symmetrisch mit sechs gleichartigen Führungsgelenkketten zwischen der Gestellplattform und der Werkzeugplattform sowie sechs gleichen Antrieben ausgeführt. Ein siebter Antrieb dient dann als Drehantrieb der Arbeitsspindel auf der Werkzeugplattform.

Der Erfundung liegt die Aufgabe zugrunde, die eingangs beschriebene Bewegungsvorrichtung hinsichtlich ihres Bauaufwandes zu vereinfachen, jedoch unter Beibehaltung der Möglichkeit, z. B. eine rotatorisch angetriebene Arbeitsspindel im X-Y-Z-Raum genau zu führen (positionieren und orientieren).

Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Positionierung und Orientierung der Werkzeugplattform fünf Freiheitsgrade und somit fünf die Führungsgelenkketten beaufschlagende Antriebe vorgesehen sind, wobei eine aktive oder eine passive Führungsgelenkkette insgesamt fünf Gelenkfreiheitsgrade aufweist.

Die Erfundung beruht auf der Erkenntnis, daß für die räumliche Führung eines rotationssymmetrischen Teils – wie es z. B. eine Arbeitsspindel darstellt – nur fünf Bewegungsfreiheiten und damit auch nur fünf Dreh- oder Schubantriebe notwendig sind. Andererseits läßt sich eine sechsachsige Bewegungsvorrichtung mit Parallelstruktur, also mit sechs Führungsgelenkketten, nicht einfach durch Weglassen einer Führungsgelenkkette auf eine Bewegungsvorrichtung mit fünf Führungsgelenkketten reduzieren. Erfundungsgemäß kommt man mit drei Gelenk"ebenen" pro Führungsgelenkkette aus. Die erste und dritte Gelenk"ebene" fällt mit der Gestellplattform bzw. Werkzeugplattform zusammen; die zweite Gelenk"ebene" setzt sich aus den Gelenken zwischen den GP-nahen und den WP-nahen Gliedern aller Führungsgelenkketten zusammen.

Eine zweckmäßige Ausführungsform der erfundungsgemäß

mäßigen Lösung ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Vorgesehen sind insgesamt fünf aktive Führungsgelenkketten;
- jede dieser Führungsgelenkketten weist ein aktives, d. h. ein von einem Dreh- oder Schubantrieb beaufschlagtes Gelenk mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) sowie zwei passive, d. h. nicht mit einem Antrieb gekoppelte Gelenke auf;
- bei vier Führungsgelenkketten weisen die beiden passiven Gelenke jeweils zusammen fünf Gelenkfreiheitsgrade ($f = 5$) auf;
- die beiden passiven Gelenke der fünften Führungsgelenkkette weisen zusammen vier Gelenkfreiheitsgrade ($f = 4$) auf (Fig. 1).

Die beiden zusammen fünf Gelenkfreiheitsgrade aufweisenden passiven Gelenke können z. B. ein Kardan- oder Kreuzgelenk ($f = 2$) und ein Kugelgelenk ($f = 3$) sein, so daß sich bei diesen Führungsgelenkketten zusammen mit dem aktiven Gelenk ein sogenannter Kettenfreiheitsgrad $F_k = 6$ ergibt. Die beiden passiven Gelenke der fünften Führungsgelenkkette können z. B. ein Drehgelenk ($f = 1$) und ein Kugelgelenk ($f = 3$) oder zwei Kardangelenke (jeweils $f = 2$) sein, so daß sich für die fünfte Führungsgelenkkette zusammen mit dem aktiven Gelenk der Kettenfreiheitsgrad $F_k = 5$ ergibt.

Eine abgewandelte Ausführungsform ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Vorgesehen sind insgesamt vier aktive Führungsgelenkketten;
- zwei Führungsgelenkketten umfassen ein aktives Gelenk mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) und zwei passive Gelenke, wobei letztere jeweils zusammen fünf Gelenkfreiheitsgrade ($f = 5$) aufweisen;
- eine Führungsgelenkkette umfaßt ein aktives Gelenk mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) und zwei passive Gelenke, wobei letztere zusammen vier Gelenkfreiheitsgrade ($f = 4$) aufweisen;
- die vierte Führungsgelenkkette umfaßt ein aktives, von zwei Antrieben beaufschlagtes Gelenk mit zwei Gelenkfreiheitsgraden ($f = 2$) und zwei passive, zusammen vier Gelenkfreiheitsgrade ($f = 4$) aufweisende Gelenke (Fig. 3).

Durch den Einsatz eines Doppelantriebs für eine Führungsgelenkkette läßt sich die Anzahl der Führungsgelenkketten um 1 verringern. Bei der vierten Führungsgelenkkette ist somit das aktive Gelenk mit zwei Antrieben, die Dreh- oder Schubantriebe sein können, über einen X-Y-Tisch oder Kreuztisch gekoppelt. Für diese vierte Führungsgelenkkette ergibt sich dann der Kettenfreiheitsgrad $F_k = 6$.

Alternativ besteht die Möglichkeit, jeweils einen Doppelantrieb für zwei Führungsgelenkketten einzusetzen, so daß sich die Anzahl der Führungsgelenkketten um 2 verringert. Eine derartige Ausführungsform ist erfundungsgemäß durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Vorgesehen sind insgesamt drei aktive Führungsgelenkketten;
- eine Führungsgelenkkette weist ein aktives Gelenk mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) auf;
- die beiden anderen Führungsgelenkketten besitzen jeweils ein aktives Gelenk mit zwei Gelenkfreiheitsgraden ($f = 2$);
- jede der drei Führungsgelenkketten umfaßt ferner

zwei passive Gelenke mit jeweils zusammen vier Gelenkfähigkeiten ($f = 4$) (Fig. 4).

Um den konstruktiven und steuerungstechnischen Aufwand weiter zu verringern, besteht erfahrungsgemäß die Möglichkeit, hinsichtlich der Gelenkartens gleichartig und/ oder hinsichtlich der Gelenkfähigkeiten vergleichbar aufgebaute angetriebene Führungsgelenkketten zu verwenden. Eine entsprechende Alternativlösung ist erfahrungsgemäß durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Vorgesehen sind fünf aktive Führungsgelenkketten;
- vorgesehen ist ferner eine zusätzliche, zwischen Gestellplattform und Werkzeugplattform angeordnete, nicht angetriebene, d. h. passive Führungsgelenkkette, die einen GP-nahen, mit der Gestellplattform gelenkig verbundenen Gelenkstab sowie einen WP-nahen, sowohl mit dem GP-nahen Gelenkstab als auch mit der Werkzeugplattform gelenkig verbundenen Gelenkstab aufweist;
- die fünf aktiven Führungsgelenkketten weisen jeweils ein aktives Gelenk mit einem Gelenkfähigkeitsgrad ($f = 1$) und zwei passive Gelenke mit zusammen fünf Gelenkfähigkeiten ($f = 5$) und untereinander gleichartige Gelenkartens bzw. vergleichbare Gelenkfähigkeitengrade auf;
- die drei Gelenke der passiven Führungsgelenkkette haben zusammen fünf Gelenkfähigkeitengrade ($f = 5$) (Fig. 5 und 6).

Alternativ besteht erfahrungsgemäß die Möglichkeit, die Antriebe in zwei Gruppen auf zwei senkrecht zueinander stehenden Geraden in der Gestellplattform anzurufen. Ausgehend von der eingangs beschriebenen Bewegungsvorrichtung, jedoch mit jeweils nur einem Gelenkstab pro Führungsgelenkkette, ist eine erfahrungsgemäß Lösung für diese Alternative durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- vorgesehen sind insgesamt fünf aktive Führungsgelenkketten;
- jede Führungsgelenkkette weist ein an der Gestellplattform gelagertes Antriebsglied auf, das als Dreh- oder Schubglied ($f = 1$) ausgebildet ist;
- jede Führungsgelenkkette weist nur einen Gelenkstab auf, der mit seinem einen Ende über ein Kardan- oder Kreuzgelenk an dem GP-eigenen Antriebsglied angelenkt ist;
- jeweils eine Achse der drei Kardangelenke liegt auf einer gemeinsamen Y-Achse;
- bei drei Führungsgelenkketten sind die ihnen zugeordneten Antriebsglieder in der Gestellplattform auf einer gemeinsamen Y-Achse angeordnet, wobei bei Ausbildung der Antriebsglieder als Drehglieder deren Drehachsen senkrecht auf der 4-Achse stehen, während bei der Ausbildung als Schubglieder diese entlang einer gemeinsamen Y-Achse verschiebbar sind, wobei auch die drei diesen drei Führungsgelenkketten zugeordneten WP-Kardangelenke jeweils mit ihrer Gelenkmitte auf einer gemeinsamen Y-Achse liegen;
- bei den beiden anderen Führungsgelenkketten sind die ihnen zugeordneten Antriebsglieder entsprechend auf einer gemeinsamen X-Achse angeordnet, während die Anlenkung an der Werkzeugplattform jeweils über ein Kugelgelenk erfolgt, deren beiden Gelenkmittnen auf einer gemeinsamen X-Achse liegen (Fig. 12).

Durch die zusammenfallenden Lagen der beschriebenen

Kardangelenkachsen bleiben die zugeordneten Gruppen von drei bzw. zwei Führungsgelenkketten jeweils koplanar und ermöglichen entkoppelte Bewegungen in der Y-Z- bzw. X-Z-Ebene wie bei ebenen Getrieben, d. h. für Positionierungen des Werkzeugs auf der Werkzeugplattform in den angegebenen kartesischen Ebenen der Gestellplattform sind nur zwei bzw. drei statt fünf Antriebe notwendig. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, daß die mittlere Führungsgelenkkette für die Y-Achse die benachbarten Führungsgelenkketten links und rechts jeweils zu Parallelkurbelgetrieben ergänzen kann und damit Kreisschiebungen eines Werkzeugs in der Y-Z-Ebene ermöglicht. Vorteilhaft ist dabei ferner, daß eine Drehung um die Z-Achse konstruktiv ausgeschlossen ist, und daß nur ein erheblich reduzierter Steuerungsaufwand erforderlich ist.

Bei der konstruktiven Umsetzung der vorstehend beschriebenen Lösung ist es zweckmäßig, wenn für bestimmte Stellungen der fünf als Schubglieder ausgebildeten Antriebsglieder der Y-Abstand zwischen zwei benachbarten WP-Kardangelenken dem Y-Abstand zwischen den beiden zugeordneten Antriebsgliedern und der X-Abstand zwischen den beiden WP-Kugelgelenken dem X-Abstand zwischen den beiden zugeordneten Antriebsgliedern entspricht. Dabei ist es ferner vorteilhaft, wenn das WP-Kardangelk der mittleren Führungsgelenkkette in der geometrischen Mitte der Werkzeugplattform liegt.

Bei allen vorstehend beschriebenen erfahrungsgemäßen Lösungen ist es grundsätzlich möglich, daß zum rotatorischen Antrieb einer in der Werkzeugplattform gelagerten Arbeitsspindel eine zusätzliche, die Arbeitsspindel mit der Gestellplattform verbindende angetriebene, d. h. aktive Gelenkkette vorgesehen ist, deren Gelenke insgesamt sieben Freiheitsgrade aufweisen. Durch diese zusätzliche angetriebene Gelenkkette zwischen Gestellplattform und Werkzeugplattform ändert sich das Bewegungsverhalten der Bewegungsvorrichtung nicht. Erreicht wird dies durch einen Kettenfreiheitsgrad $F_k = 7$.

Als Gelenke werden vorzugsweise wälzgelagerte Bauformen als Dreh-, Schub-, Kardan-, Kreuz- und Kugelgelenke eingesetzt, die geringes (einstellbares) Spiel und geringe Reibung (geringen Verschleiß) bei großer Lebensdauer aufweisen. Dabei sind die Führungsgelenkketten im allgemeinen nicht gleichartig hinsichtlich der Gelenkartens aufgebaut.

Bei dem als Schubantrieb ausgebildeten Einzelantrieb handelt es sich um einen Linearantrieb, der z. B. aus der konventionellen Kombination "Drehmotor und Gewindestein" bestehen kann, oder bei dem z. B. das Schubglied das GP-nahe Glied darstellt und selbst Teil eines Linearmotors ist.

Im Normalfall ist die Anordnung der Gelenke zum Anschluß der Führungsgelenkketten in der Gestellplattform und der Werkzeugplattform sowie die Ausrichtung der Gelenkachsen der Gelenke einer Führungsgelenkkette beliebig.

Aus steuerungstechnischen und/oder konstruktiven Gründen wird man symmetrische bzw. gleichabständige Anordnungen der Gelenkanschlüsse in der Gestellplattform und Werkzeugplattform auf Kreisen oder Geraden wählen.

Sofern hinsichtlich der Gelenkartens gleichartige und/oder hinsichtlich der Gelenkfähigkeiten vergleichbar aufgebaute angetriebene Führungsgelenkketten verwendet werden, ist dafür zu sorgen, daß entweder durch eine zusätzliche nicht angetriebene (passive) Gelenkkette mit genau bestimmter Anzahl und Art von Gelenken zwischen der Gestellplattform und Werkzeugplattform oder aber durch eine spezielle Ausrichtung von Gelenkachsen in jeder Führungsgelenkkette der Zwangslauf der Werkzeugplattform gegenüber der Gestellplattform bei fünf Antrieben als Einzelantrieb oder in

der Einzel-Doppel-Kombination sichergestellt ist.

In der Zeichnung sind einige als Beispiele dienende Ausführungsformen der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 in schaubildlicher Darstellung eine Bewegungsvorrichtung mit fünf aktiven Führungsgelenkketten;

Fig. 2 eine Ausführungsform gemäß **Fig. 1**, bei der die Gelenkstange einer aktiven Führungsgelenkkette durch eine Doppelstangenführungskette ersetzt ist;

Fig. 3 eine Bewegungsvorrichtung mit vier aktiven Führungsgelenkketten;

Fig. 4 eine Bewegungsvorrichtung mit drei aktiven Führungsgelenkketten;

Fig. 5 eine Bewegungsvorrichtung mit fünf aktiven Führungsgelenkketten und einer passiven Führungsgelenkkette;

Fig. 6 eine gegenüber **Fig. 5** etwas abgewandelte Ausführungsform mit ebenfalls fünf aktiven Führungsgelenkketten und einer passiven Führungsgelenkkette;

Fig. 7 die Ausführungsform gemäß **Fig. 1** mit einer zusätzlichen aktiven Gelenkkette zum Antrieb einer in der Werkzeugplattform gelagerten Arbeitsspindel;

Fig. 8 Beispiele für einfach angetriebene Führungsgelenkketten mit dem Kettenfreiheitsgrad $F_k = 6$;

Fig. 9 Beispiele für zweifach angetriebene Führungsgelenkketten mit dem Kettenfreiheitsgrad $F_k = 6$;

Fig. 10 Beispiele für passive Führungsgelenkketten mit dem Kettenfreiheitsgrad $F_k = 5$;

Fig. 11 Beispiele für einfach angetriebene Führungsgelenkketten mit dem Kettenfreiheitsgrad $F_k = 5$ und

Fig. 12 eine Bewegungsvorrichtung mit fünf aktiven Führungsgelenkketten, deren Antriebe in zwei Gruppen auf zwei senkrecht zueinander stehenden Geraden angeordnet sind.

Fig. 1 zeigt eine Bewegungsvorrichtung mit Parallelstruktur mit fünf jeweils separat angetriebenen, d. h. aktiven Führungsgelenkketten 1 zur Parallelführung einer Werkzeugplattform (WP) 2 gegenüber einer raumfesten Gestellplattform (GP) 3 in einem durch die mit der Gestellplattform 3 verbundenen X-, Y- und Z-Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum.

Jede Führungsgelenkkette 1 weist einen GP-nahen, mit der Gestellplattform 3 gelenkig verbundenen Gelenkstab 1a sowie einen WP-nahen, sowohl mit dem GP-nahen Gelenkstab 1a als auch mit der Werkzeugplattform 2 gelenkig verbundenen Gelenkstab 1b auf. Die Werkzeugplattform 2 stellt somit gegenüber der Gestellplattform 3 das alle Führungsgelenkketten 1 als geschlossene kinematische Ketten miteinander verbindende Glied dar.

Jede dieser Führungsgelenkketten 1 weist ein aktives Gelenk 4 mit einem Gelenkfreiheitsgrad $f = 1$ sowie zwei passive, d. h. nicht mit einem Antrieb gekoppelte Gelenke 5, 6 auf. Alle aktiven Gelenke 4 sind jeweils von einem Drehantrieb 7 beaufschlagt.

Vier der mittleren passiven Gelenke sind als Kugelgelenk 5a ausgebildet, während das mittlere passive Gelenk der fünften Führungsgelenkkette 1 ein Kardangelenk 5b ist. Alle WP-nahen passiven Gelenke 6 sind in dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel als Kardangelenk 6b ausgebildet. Somit weisen bei den vier Führungsgelenkketten 1 die beiden passiven Gelenke 5a, 6b jeweils zusammen fünf Gelenkfreiheitsgrade auf, während die beiden passiven Gelenke 5b, 6b der fünften Führungsgelenkkette zusammen vier Gelenkfreiheitsgrade aufweisen.

Fig. 2 zeigt eine Bewegungsvorrichtung, die im wesentlichen der der **Fig. 1** entspricht. Lediglich die fünfte Führungsgelenkkette 1 ist unterschiedlich gestaltet: Der WP-nahe Gelenkstab 1b der **Fig. 1** ist ersetzt durch eine Doppelstangenführung 1c, die über zwei Punkte, nämlich über die beiden passiven Kardangelenke 6b an der Werkzeugplatt-

form 2 geführt ist. Außerdem ist bei dieser fünften Führungsgelenkkette das mittlere passive Kardangelenk 5b der **Fig. 1** ersetzt durch zwei auf einer gemeinsamen Achse sitzende Kugelgelenke 5a. Eine derartige Doppelstangenführung 1c ermöglicht bei der Kraftübertragung eine Kraftaufteilung.

Fig. 3 zeigt eine Bewegungsvorrichtung mit insgesamt vier aktiven Führungsgelenkketten 1, von denen drei Führungsgelenkketten ein aktives, von einem Drehantrieb 7 beaufschlagtes Gelenk 4 ($f = 1$) aufweisen, während das aktive Gelenk 4 der vierten Führungsgelenkkette 1 von einem Drehantrieb 7 und einem Schubantrieb 8 beaufschlagt ist und somit zwei Gelenkfreiheitsgrade aufweist.

Bei allen vier Führungsgelenkketten 1 ist das WP-nahe 15 passive Gelenk als Kardangelenk 6b ausgebildet, während bei zwei Führungsgelenkketten 1 das mittlere passive Gelenk jeweils ein Kugelgelenk 5a und bei den anderen beiden Führungsgelenkketten ein Kardangelenk 5b ist. Die beiden passiven Gelenke 5a, 6b der beiden in **Fig. 3** links dargestellten Führungsgelenkketten 1 weisen somit jeweils zusammen 20 fünf Gelenkfreiheitsgrade auf, während die entsprechenden passiven Gelenke der beiden anderen Führungsgelenkketten jeweils zusammen nur vier Gelenkfreiheitsgrade haben.

Fig. 4 zeigt eine Bewegungsvorrichtung mit nur drei aktiven Führungsgelenkketten 1, von denen die in der Darstellung mittlere Führungsgelenkkette ein als Drehgelenk ausgebildetes aktives Gelenk 4 ($f = 1$) aufweist, während die beiden anderen Führungsgelenkketten jeweils ein aktives Gelenk 4 besitzen, das jeweils von einem Drehantrieb 7 und einem Schubantrieb 8 beaufschlagt ist. Jede der drei Führungsgelenkketten 1 umfasst ferner zwei passive Kardangelenke 5b, 6b mit jeweils zusammen vier Gelenkfreiheitsgraden.

Fig. 5 zeigt eine Bewegungsvorrichtung mit fünf aktiven Führungsgelenkketten 1 sowie eine zusätzliche, zwischen Gestellplattform 3 und Werkzeugplattform 2 angeordnete, nicht angetriebene, d. h. passive Führungsgelenkkette 9, die einen GP-nahen, mit der Gestellplattform 3 gelenkig verbundenen Gelenkstab 9a sowie einen WP-nahen, sowohl mit dem GP-nahen Gelenkstab 9a als auch mit der Werkzeugplattform 2 gelenkig verbundenen Gelenkstab 9b aufweist.

Die fünf aktiven Führungsgelenkketten 1 weisen jeweils 45 ein von einem Drehantrieb 7 beaufschlagtes aktives Gelenk 4 mit einem Gelenkfreiheitsgrad auf sowie jeweils zwei passive Gelenke 5a, 6b mit zusammen fünf Gelenkfreiheitsgraden. Bei der passiven Führungsgelenkkette 9 ist das GP-nahe passive Gelenk 10 ebenso wie das WP-nahe passive Gelenk 6b als Kardangelenk ausgebildet, während das mittlere passive Gelenk ein Schubgelenk 5c ist. Die drei Gelenke 10, 5c, 6b der passiven Führungsgelenkkette 9 haben zusammen fünf Gelenkfreiheitsgrade.

Die Ausführungsform gemäß **Fig. 6** entspricht im wesentlichen der der **Fig. 5**, wobei hier das passive, GP-nahe Gelenk 10 ein einfaches Drehgelenk ist, während die beiden anderen passiven Gelenke jeweils Kardangelenke 5b, 6b sind.

Die Ausführungsform gemäß **Fig. 7** entspricht der der 60 **Fig. 1**, weist dieser gegenüber jedoch eine zusätzliche aktive Gelenkkette 11 auf, die zum rotatorischen Antrieb einer in der Werkzeugplattform 2 gelagerten Arbeitsspindel 12 dient. Das Gelenk 4 dieser zusätzlichen Gelenkkette 11 ist als Kardangelenk ausgebildet; das mittlere Gelenk ist ein 65 Schubgelenk 5c, während das WP-nahe Gelenk 6b ein mit der frei drehbaren Arbeitsspindel 12 verbundenes Kardangelenk ist. Die Gelenke dieser zusätzlichen Gelenkkette 11 weisen somit insgesamt sieben Freiheitsgrade auf.

Fig. 8 zeigt sechs Beispiele für einfach angetriebene Führungsgelenkketten, die jeweils den Kettenfreiheitsgrad $F_k = 6$ haben. Diese Führungsgelenkketten setzen sich wie folgt zusammen:

- a) Ein aktives, von einem Drehantrieb 7 beaufschlagtes Gelenk 4, ein mittleres passives Kugelgelenk 5a und ein unteres passives Kreuz- oder Kardangelenk 6b;
- b) wie a), das untere passive Gelenk ist jedoch ein Kugelgelenk 6a;
- c) das aktive Gelenk 4 wird von einem Schubantrieb 8 beaufschlagt, die beiden passiven Gelenke entsprechen denen des Beispiels a);
- d) entspricht dem Beispiel c), wobei lediglich das untere passive Gelenk als Kugelgelenk 6a ausgebildet ist;
- e) das aktive, von einem Schubantrieb 8 beaufschlagte Gelenk ist in das mittlere Gelenk verlagert; die beiden passiven Gelenke sind als Kugel- bzw. Kardangelenk ausgebildet;
- f) entspricht dem Beispiel e) mit zwei als Kugelgelenk ausgebildeten passiven Gelenken.

Fig. 9 zeigt sechs Beispiele für zweifach angetriebene Führungsgelenkketten, die jeweils einen Kettenfreiheitsgrad $F_k = 6$ aufweisen.

In **Fig. 10** sind fünf Beispiele für passive Führungsgelenkketten mit $F_k = 5$ dargestellt.

Fig. 11 zeigt neun Beispiele für einfach angetriebene Führungsgelenkketten mit jeweils $F_k = 5$. Dabei zeigt das Beispiel f) eine eine Doppelstangenführung 1c aufweisende Führungsgelenkkette, die der fünften Führungsgelenkkette der Ausführungsform in **Fig. 2** entspricht. Bei den Ausführungsformen gemäß g) und i) sind in der Doppelstangenführung 1c vier Kugelgelenke vorgesehen, so daß in den Doppelstangen keine Torsionsmomente auftreten können.

Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 12** sind insgesamt fünf aktive Führungsgelenkketten 1 mit jeweils einem Gelenkstab vorgesehen. Jede dieser Führungsgelenkketten 1 weist ein an der Gestellplattform 3 gelagertes Antriebsglied 13 auf, das als Schubglied ($f = 1$) ausgebildet ist. Der Gelenkstab jeder Führungsgelenkkette 1 ist mit seinem einen Ende über ein Kardangelenk 14 an dem GP-eigenen Antriebsglied 13 angelenkt. Jeweils eine Achse von drei dieser Kardangelenke 14 liegt auf einer gemeinsamen Achse Y_1 . Die diesen drei Kardangelenken 14 zugeordneten Antriebsglieder 13 sind in der Gestellplattform 3 auf einer gemeinsamen Y-Achse verschiebbar angeordnet. Diese drei Führungsgelenkketten 1 sind mit ihrem jeweils unteren Ende über WP-Kardangelenke 15 an der Werkzeugplattform 2 angelenkt, wobei auch die Gelenkmitte dieser drei WP-Kardangelenke 15 auf einer gemeinsamen Achse Y_2 liegen.

Bei den beiden anderen Führungsgelenkketten 1 sind die ihnen zugeordneten Antriebsglieder 13 verschiebbar auf einer gemeinsamen Achse X_1 angeordnet, während die Anlenkung an der Werkzeugplattform 2 jeweils über ein passives Kugelgelenk 6a erfolgt, deren beiden Gelenkmitten auf einer gemeinsamen Achse X_2 liegen.

Für bestimmte Stellungen der fünf als Schubglieder ausgebildeten Antriebsglieder 13 entspricht der Y-Abstand a_1 zwischen zwei benachbarten WP-Kardangelenken 15 dem Y-Abstand a_2 zwischen den beiden zugeordneten Antriebsgliedern 13 und der X-Abstand b_1 zwischen den beiden WP-Kugelgelenken 6a dem X-Abstand b_2 zwischen den beiden zugeordneten Antriebsgliedern 13. Außerdem liegt das WP-Kardangelenk 15 der mittleren Führungsgelenkkette 1 in der geometrischen Mitte der Werkzeugplattform 2.

Patentansprüche

1. Bewegungsvorrichtung mit Parallelstruktur und mit zumindest drei jeweils separat angetriebenen, d. h. aktiven Führungsgelenkketten (1) zur Parallelführung einer Werkzeugplattform (WP)(2) gegenüber einer raumfesten Gestellplattform (GP)(3) in einem durch die mit der Gestellplattform (3) verbundenen X-, Y- und Z-Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum, wobei jede Führungsgelenkkette (1) einen GP-nahen, mit der Gestellplattform (3) gelenkig verbundenen Gelenkstab (1a) sowie zumindest einen WP-nahen, sowohl mit dem GP-nahen Gelenkstab (1a) als auch mit der Werkzeugplattform (2) gelenkig verbundenen Gelenkstab (1b) aufweist, so daß die Werkzeugplattform (2) das gegenüber der Gestellplattform (3) bewegte, alle Führungsgelenkketten (1) als geschlossene kinematische Ketten miteinander verbindende Glied darstellt, dadurch gekennzeichnet, daß zur Positionierung und Orientierung der Werkzeugplattform (2) fünf Freiheitsgrade und somit fünf die Führungsgelenkketten (1) beaufschlagende Antriebe (7, 8) vorgesehen sind, wobei eine aktive oder eine passive Führungsgelenkkette (1, 9) insgesamt fünf Gelenkfreiheitsgrade ($f = 5$) aufweist.

2. Bewegungsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) Vorgesehen sind insgesamt fünf aktive Führungsgelenkketten (1);
- b) jede dieser Führungsgelenkketten (1) weist ein aktives, d. h. ein von einem Dreh- oder Schubantrieb (7) beaufschlagtes Gelenk (4) mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) sowie zwei passive, d. h. nicht mit einem Antrieb gekoppelte Gelenke (5, 6) auf;
- c) bei vier Führungsgelenkketten (1) weisen die beiden passiven Gelenke (5a, 6b) jeweils zusammen fünf Gelenkfreiheitsgrade ($f = 5$) auf;
- d) die beiden passiven Gelenke (5b, 6b) der fünften Führungsgelenkkette (1) weisen zusammen vier Gelenkfreiheitsgrade ($f = 4$) auf (**Fig. 1**).

3. Bewegungsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) Vorgesehen sind insgesamt vier aktive Führungsgelenkketten (1);
- b) zwei Führungsgelenkketten (1) umfassen ein aktives Gelenk (4) mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) und zwei passive Gelenke (5a, 6b), wobei letztere jeweils zusammen fünf Gelenkfreiheitsgrade ($f = 5$) aufweisen;
- c) eine Führungsgelenkkette (1) umfaßt ein aktives Gelenk (4) mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) und zwei passive Gelenke (5b, 6b), wobei letztere zusammen vier Gelenkfreiheitsgrade ($f = 4$) aufweisen;
- d) die vierte Führungsgelenkkette (1) umfaßt ein aktives, von zwei Antrieben (7, 8) beaufschlagtes Gelenk (4) mit zwei Gelenkfreiheitsgraden ($f = 2$) und zwei passive, zusammen vier Gelenkfreiheitsgrade ($f = 4$) aufweisende Gelenke (5b, 6b) (**Fig. 3**).

4. Bewegungsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) Vorgesehen sind insgesamt drei aktive Führungsgelenkketten (1);
- b) eine Führungsgelenkkette (1) weist ein aktives Gelenk (4) mit einem Gelenkfreiheitsgrad ($f = 1$) auf;

- c) die beiden anderen Führungsgelenkketten (1) besitzen jeweils ein aktives Gelenk (4) mit zwei Gelenkfähigkeitsgraden ($f = 2$);
 d) jede der drei Führungsgelenkketten (1) umfaßt ferner zwei passive Gelenke (5b, 6b) mit jeweils zusammen vier Gelenkfähigkeitsgraden ($f = 4$) (Fig. 4).

5. Bewegungsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) Vorgesehen sind fünf aktive Führungsgelenkketten (1);
 b) vorgesehen ist ferner eine zusätzliche, zwischen Gestellplattform (3) und Werkzeugplattform (2) angeordnete, nicht angetriebene, d. h. passive Führungsgelenkkette (9), die einen GP-nahen, mit der Gestellplattform (3) gelenkig verbundenen Gelenkstab (9a) sowie einen WP-nahen, sowohl mit dem GP-nahen Gelenkstab (9a) als auch mit der Werkzeugplattform (2) gelenkig verbundenen Gelenkstab (9b) aufweist; 10
 c) die fünf aktiven Führungsgelenkketten (1) weisen jeweils ein aktives Gelenk (4) mit einem Gelenkfähigkeitsgrad ($f = 1$) und zwei passive Gelenke (5a, 6b) mit zusammen fünf Gelenkfähigkeitsgraden ($f = 5$) und untereinander gleichartige Gelenkkarten bzw. vergleichbare Gelenkfähigkeitsgrade auf; 15
 d) die drei Gelenke (10, 5c, 6b) der passiven Führungsgelenkkette (9) haben zusammen fünf Gelenkfähigkeitsgrade ($f = 5$) (Fig. 5 und 6). 20

6. Bewegungsvorrichtung mit Parallelstruktur und mit zumindest drei jeweils separat angetriebenen, d. h. aktiven Führungsgelenkketten (1) zur Parallelführung einer Werkzeugplattform (2) gegenüber einer raumseitigen Gestellplattform (3) in einem durch die mit der Gestellplattform (3) verbundenen X-, Y- und Z-Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum, wobei jede Führungsgelenkkette (1) über ein GP-Gelenk (14) an der Gestellplattform (3) und über ein WP-Gelenk (15, 6a) an der Werkzeugplattform (2) 30 angelenkt ist, so daß die Werkzeugplattform (2) das gegenüber der Gestellplattform (3) bewegte, alle Führungsgelenkketten (1) als geschlossene kinematische Ketten miteinander verbindende Glied darstellt, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) Vorgesehen sind insgesamt fünf aktive Führungsgelenkketten (1);
 b) jede Führungsgelenkkette (1) weist ein an der Gestellplattform (3) gelagertes Antriebsglied (13) auf, das als Dreh- oder Schubglied ($f = 1$) ausgebildet ist; 40
 c) jede Führungsgelenkkette (1) weist nur einen Gelenkstab auf, der mit seinem einen Ende über ein Kardan- oder Kreuzgelenk (14) an dem GP-eigenen Antriebsglied (13) angelenkt ist; 45
 d) jeweils eine Achse der drei Kardangelenke (14) liegt auf einer gemeinsamen Y-Achse (Y_1);
 e) bei drei Führungsgelenkketten (1) sind die ihnen zugeordneten Antriebsglieder (13) in der Gestellplattform (3) auf einer gemeinsamen Y-Achse 50 angeordnet, wobei bei Ausbildung der Antriebsglieder als Drehglieder deren Drehachsen senkrecht auf der Y-Achse stehen, während bei der Ausbildung als Schubglieder diese entlang einer gemeinsamen Y-Achse verschiebbar sind, wobei 55 auch die drei diesen drei Führungsgelenkketten (1) zugeordneten WP-Kardangelenke (15) jeweils mit ihrer Gelenkmitte auf einer gemeinsamen Y-

Achse (Y_2) liegen;
 f) bei den beiden anderen Führungsgelenkketten (1) sind die ihnen zugeordneten Antriebsglieder (13) entsprechend auf einer gemeinsamen X-Achse angeordnet, während die Anlenkung an der Werkzeugplattform (2) jeweils über ein Kugelgelenk (6a) erfolgt, deren beiden Gelenkmitten auf einer gemeinsamen X-Achse (X_2) liegen (Fig. 12).

7. Bewegungsvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß für bestimmte Stellungen der fünf als Schubglieder ausgebildeten Antriebsglieder (13) der Y-Abstand (a_1) zwischen zwei benachbarten WP-Kardangelenken (15) dem Y-Abstand (a_2) zwischen den beiden zugeordneten Antriebsgliedern (13) und der X-Abstand (b_1) zwischen den beiden WP-Kugelgelenken (6a) dem X-Abstand (b_2) zwischen den beiden zugeordneten Antriebsgliedern (13) entspricht (Fig. 12).
 8. Bewegungsvorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das WP-Kardangelenk (15) der mittleren Führungsgelenkkette (1) in der geometrischen Mitte der Werkzeugplattform (2) liegt (Fig. 12).
 9. Bewegungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zum rotatorischen Antrieb einer in der Werkzeugplattform (2) gelagerten Arbeitsspindel (12) eine zusätzliche, die Arbeitsspindel (12) mit der Gestellplattform (3) verbindende angetriebene, d. h. aktive Gelenkkette (11) vorgesehen ist, deren Gelenke (4, 5c, 6b) insgesamt sieben Freiheitsgrade ($f = 7$) aufweisen (Fig. 7).

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

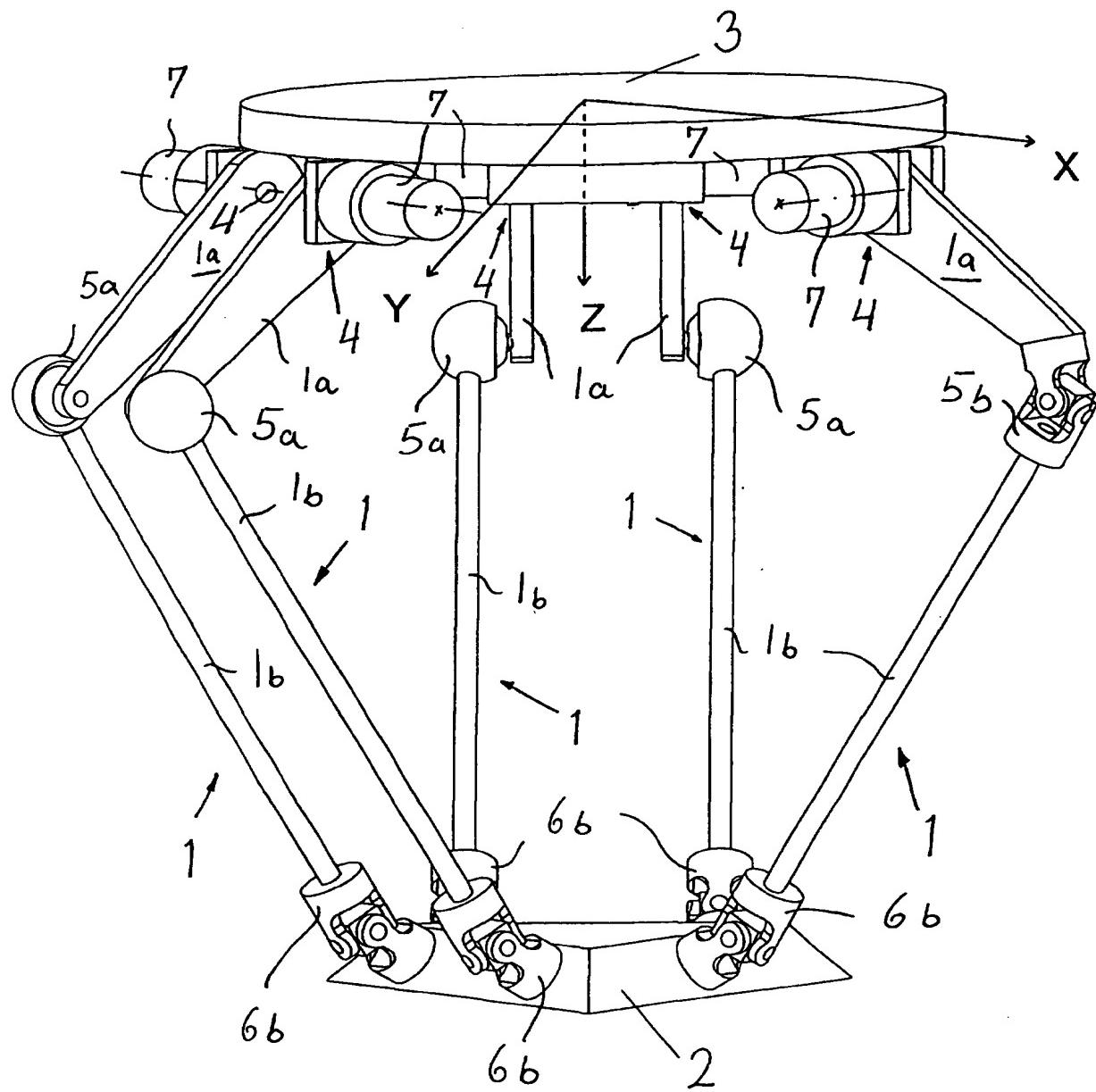


Fig. 1

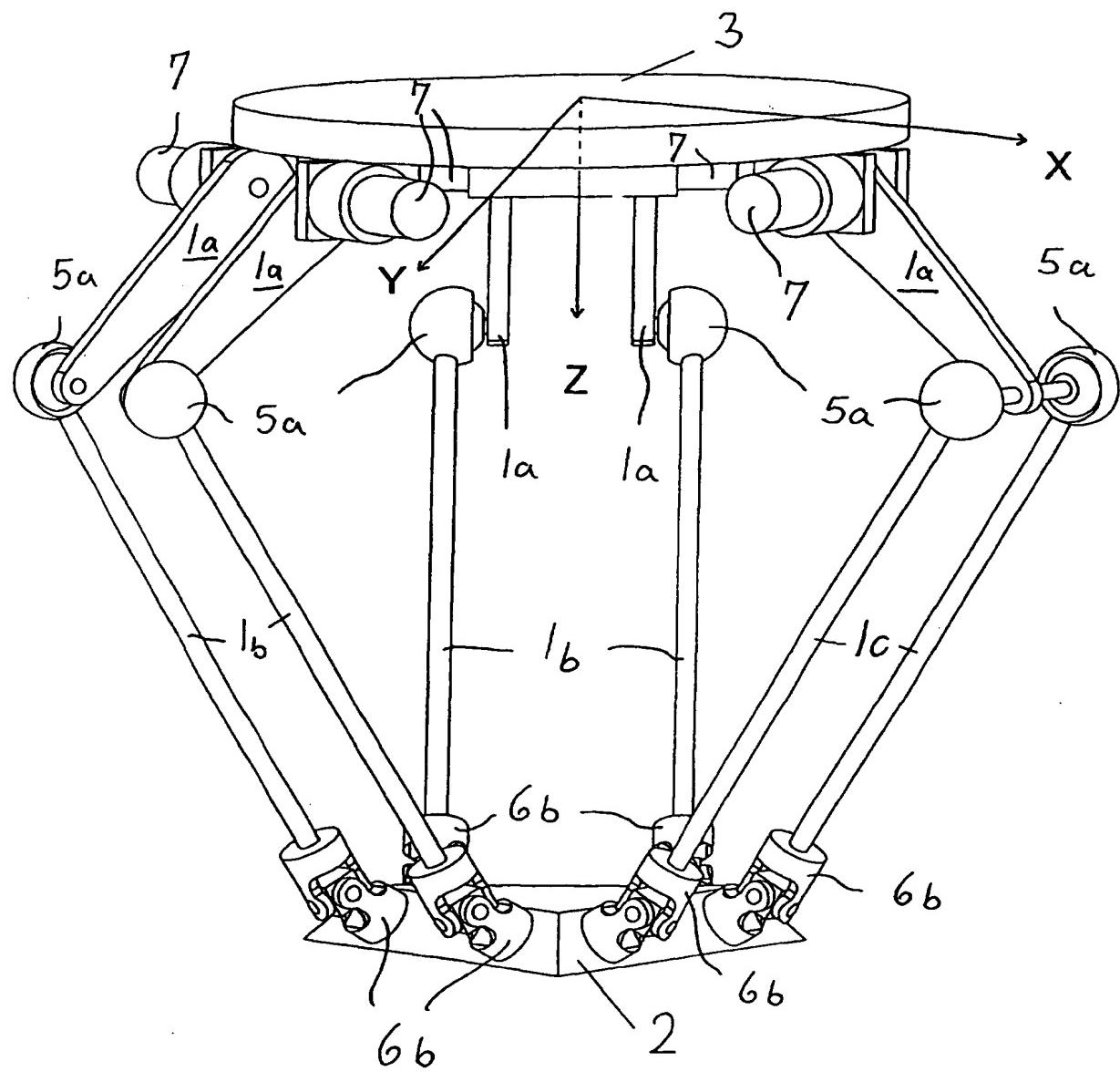


Fig. 2

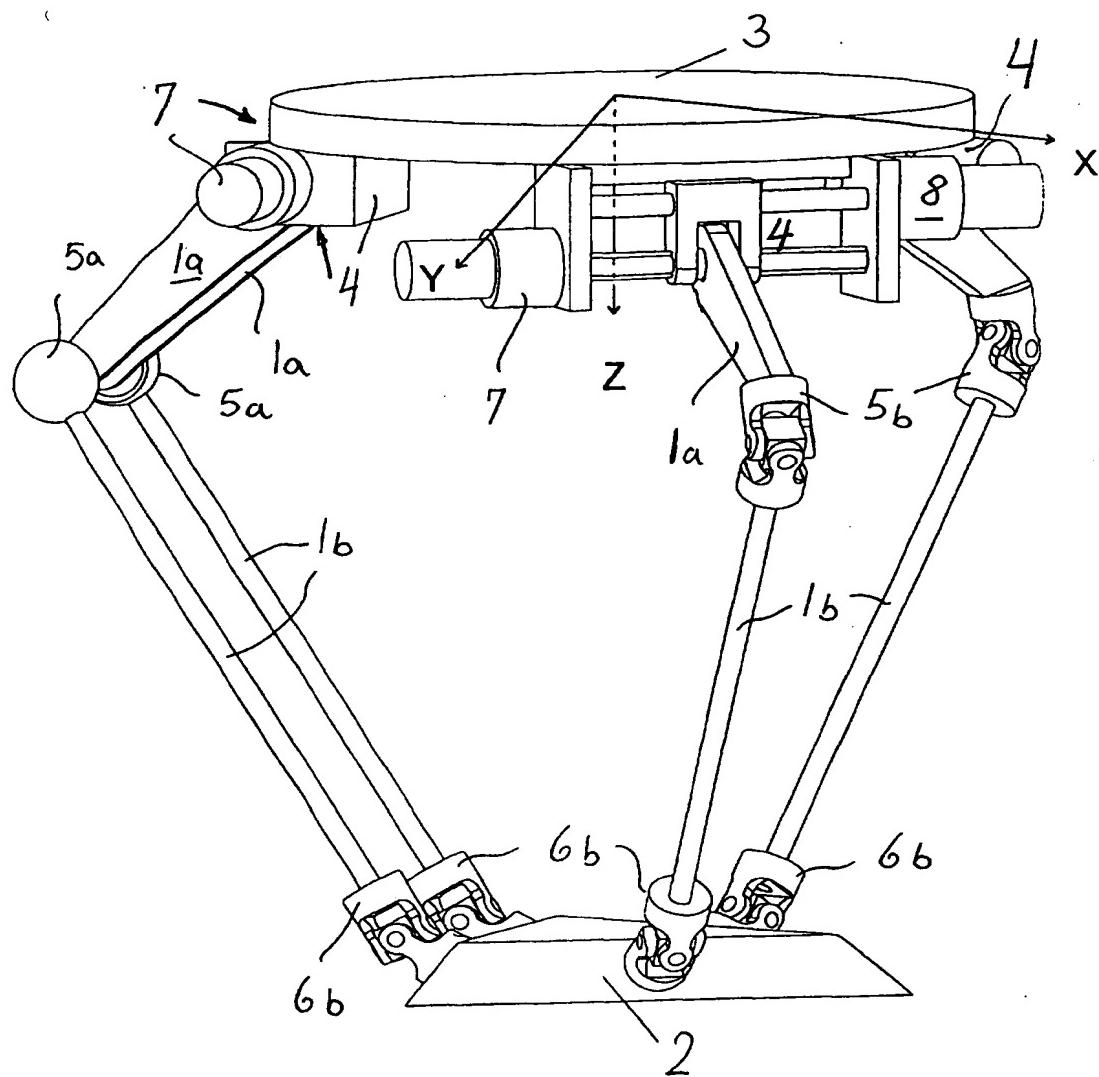


Fig. 3

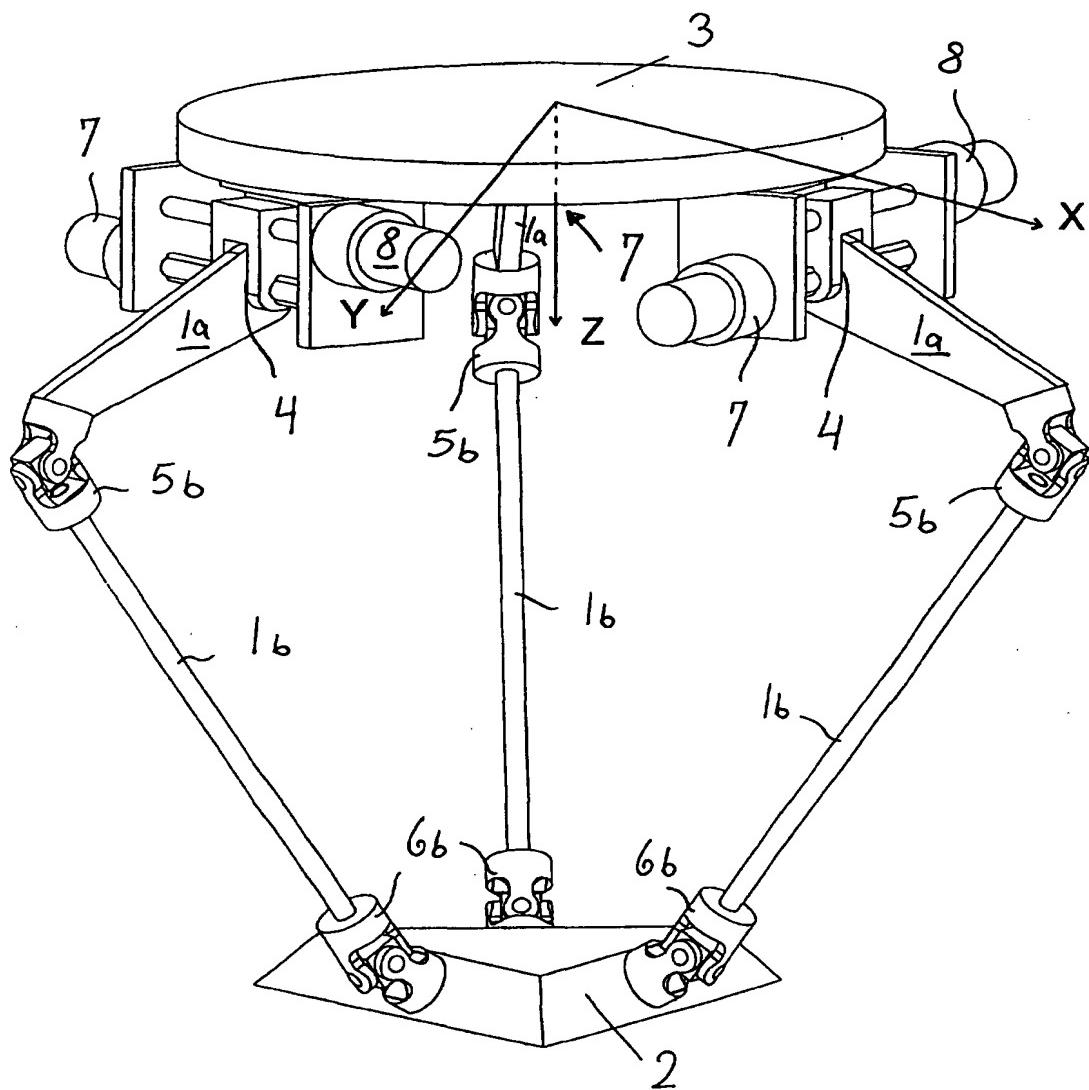


Fig. 4

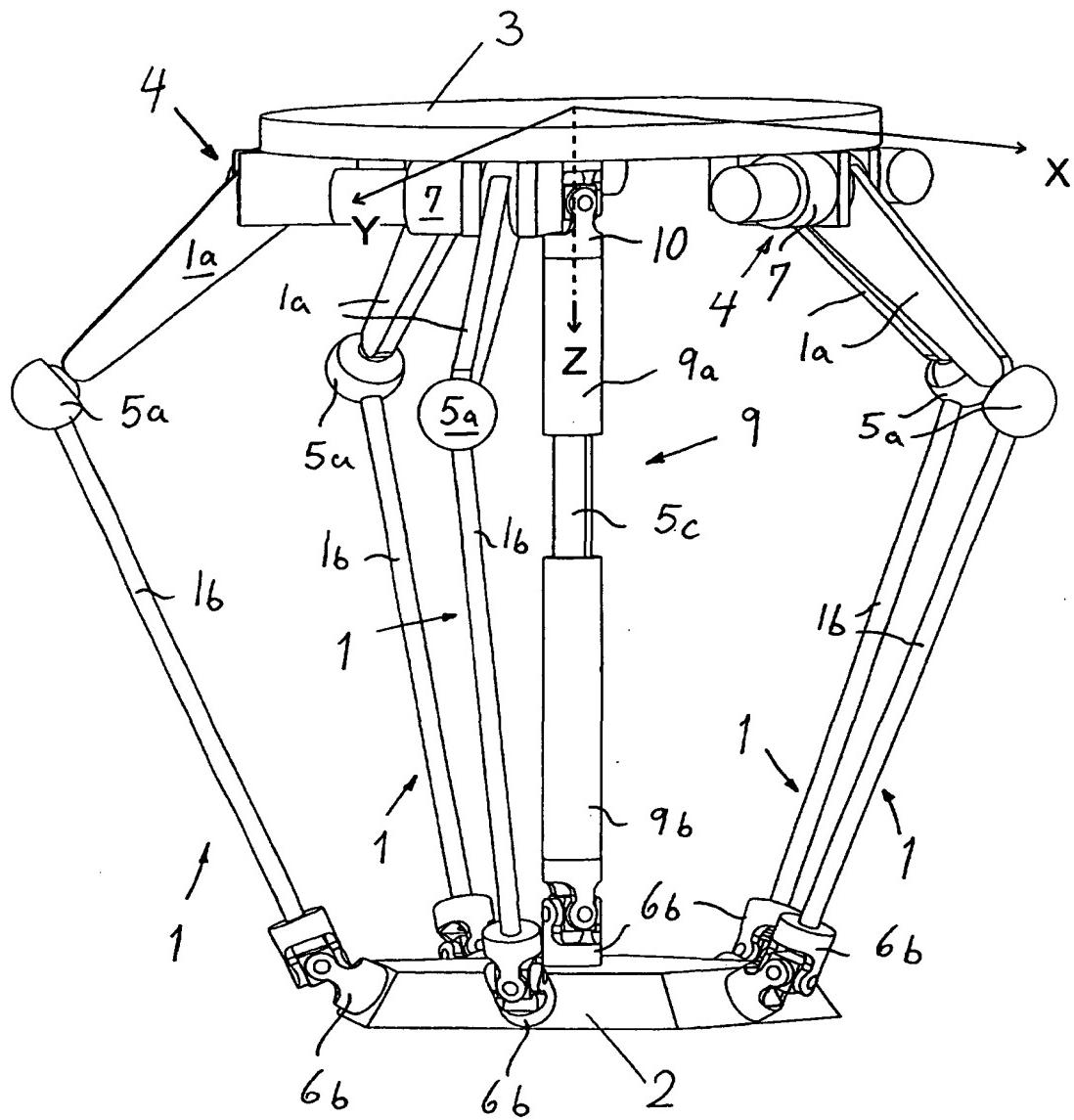


Fig. 5

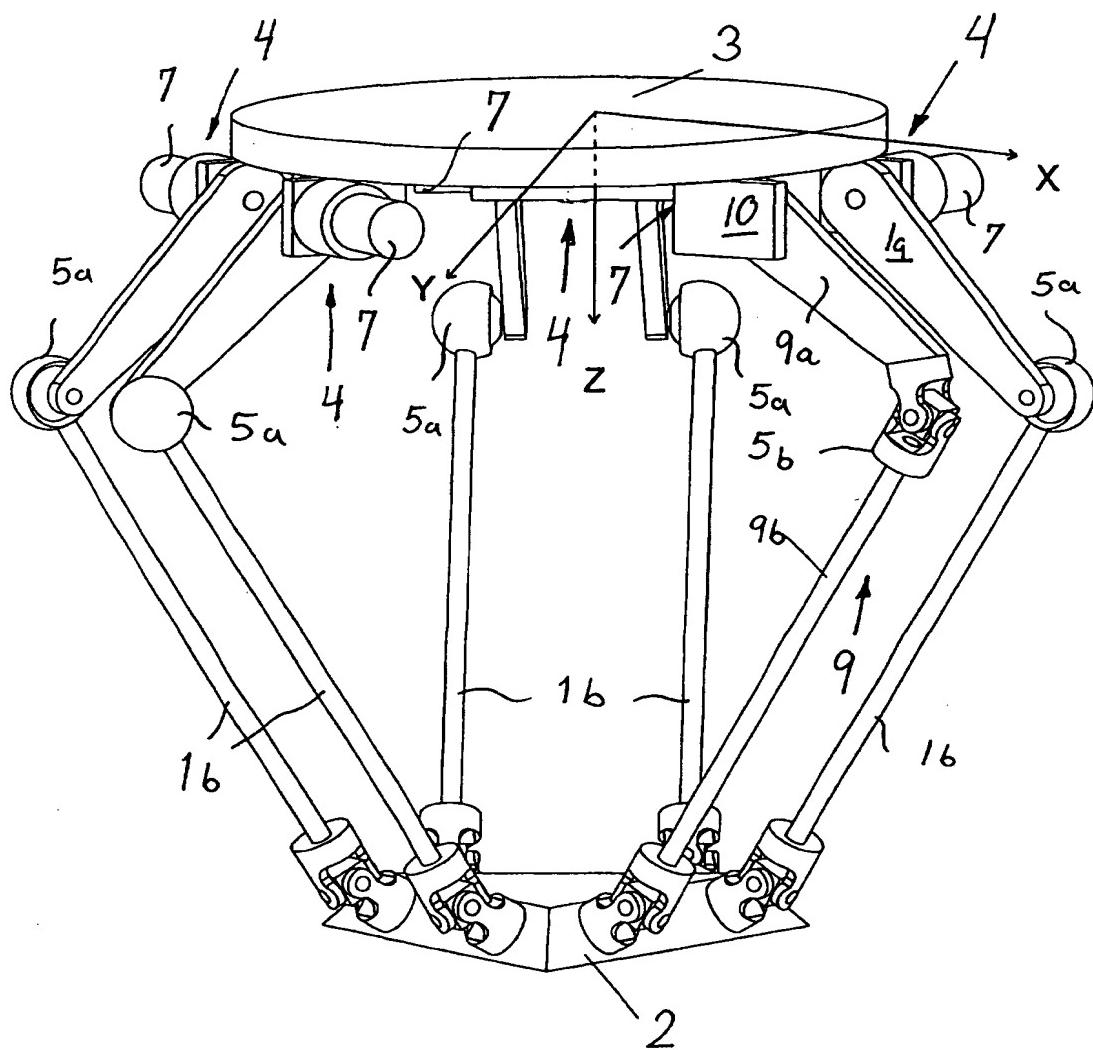


Fig. 6

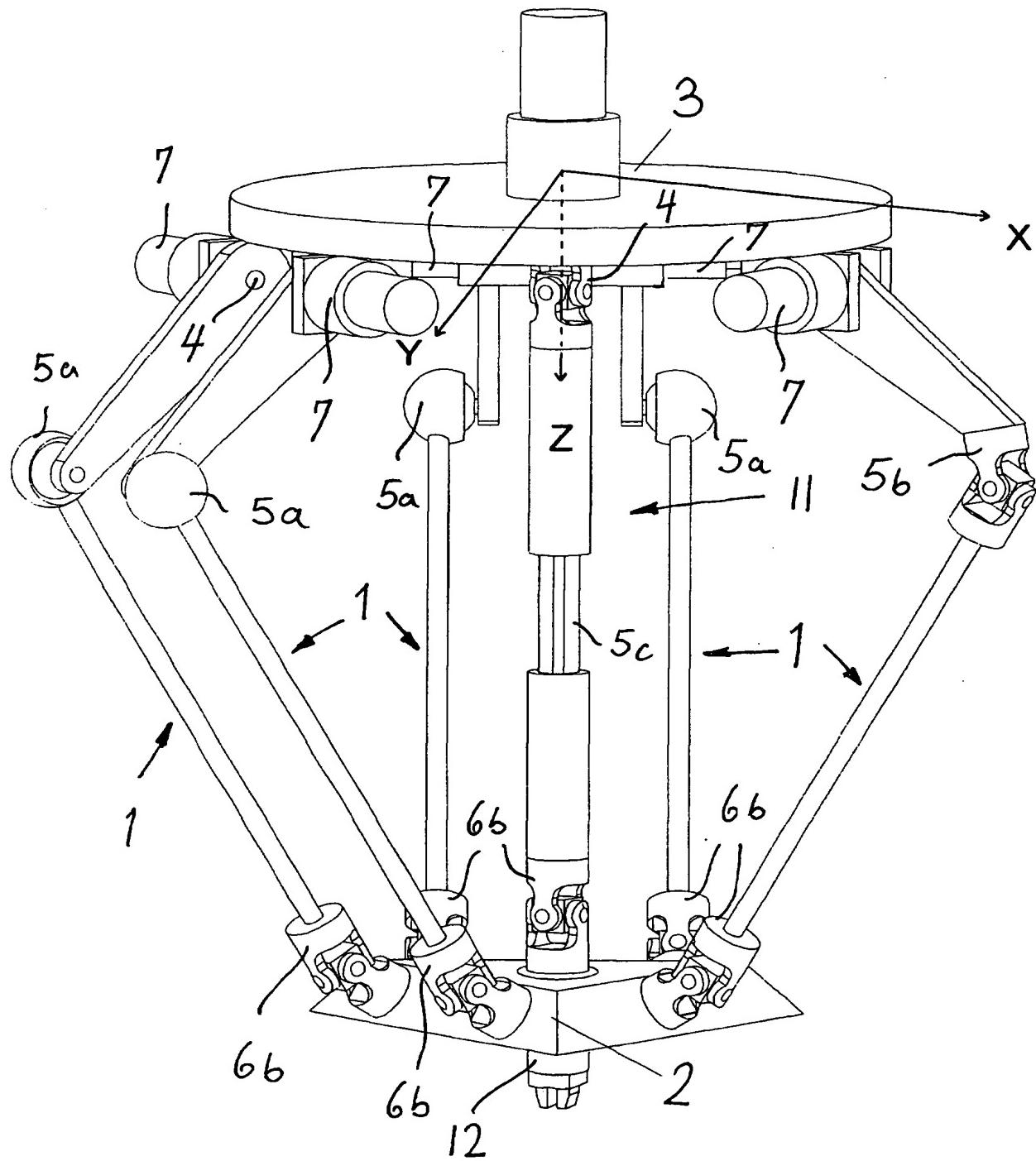


Fig. 7

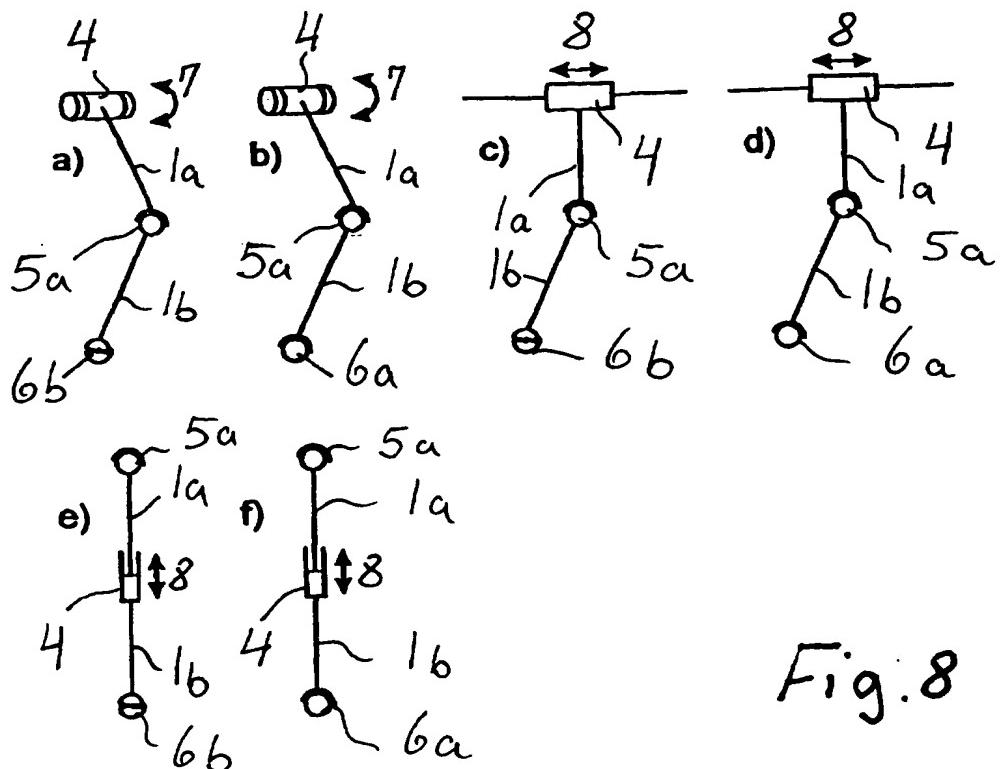


Fig. 8

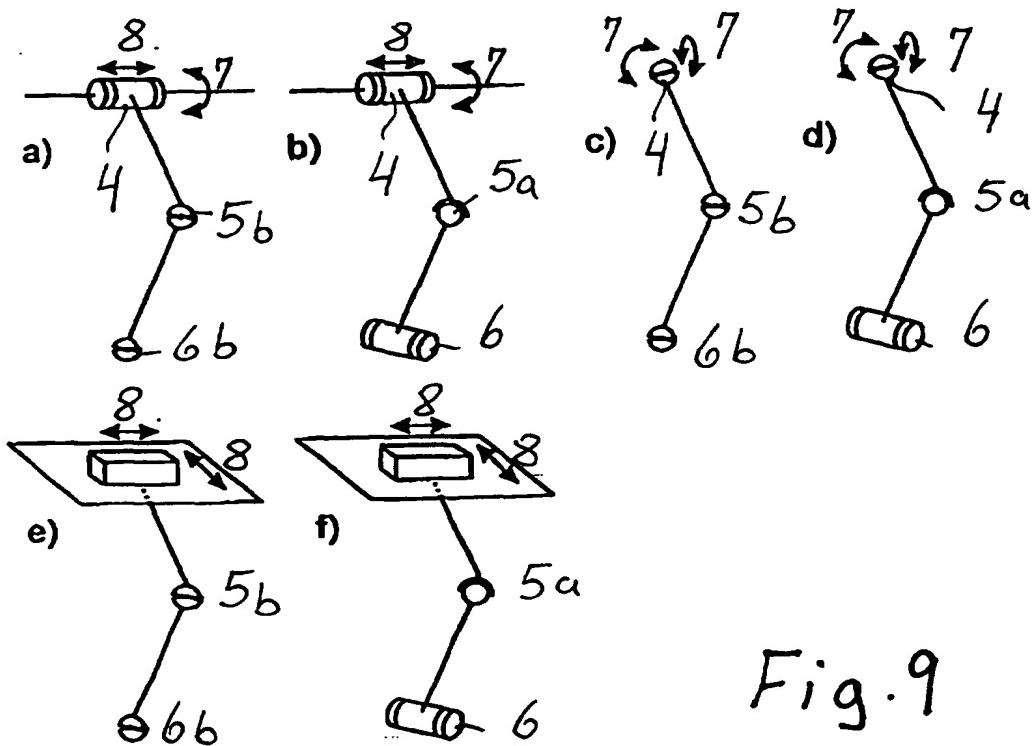


Fig. 9

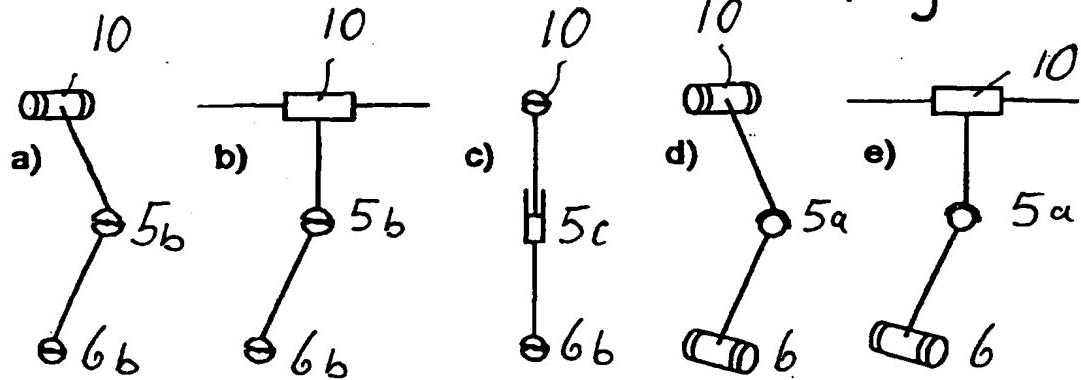


Fig. 10

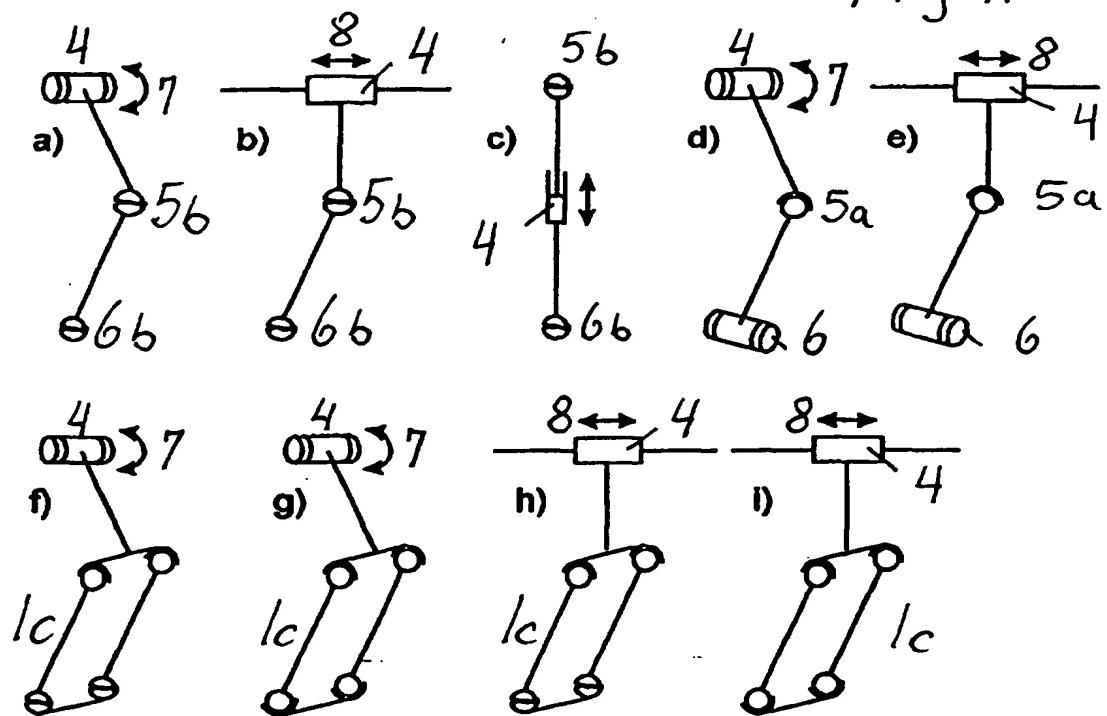


Fig. 11

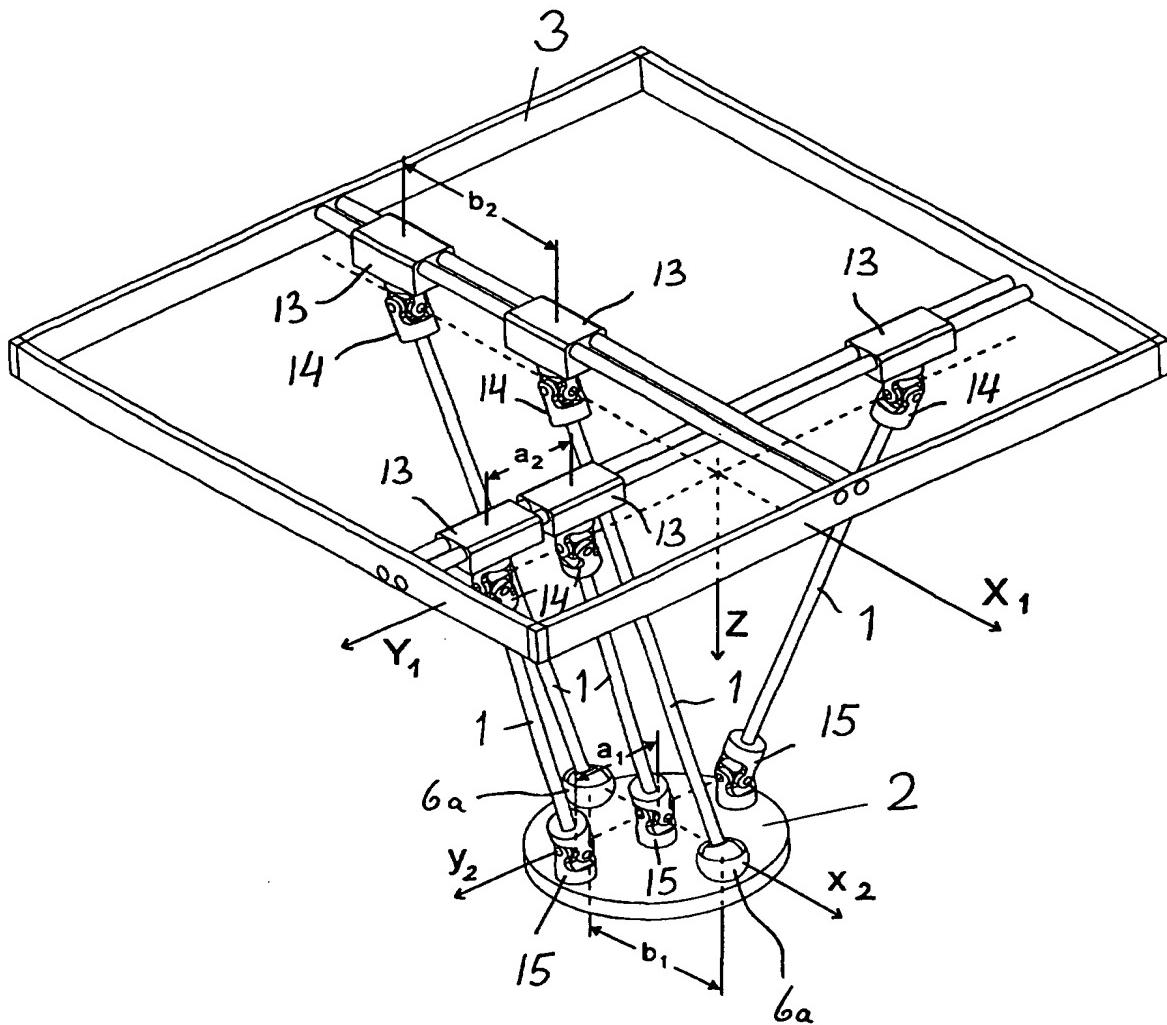


Fig. 12